β-丙氨酸对肉仔鸡生长性能、肉品质及胸肌中丙二醛和肌肽含量的影响

齐　博　武书庚　王　晶　齐广海　张海军*

（中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点开放试验室，生物饲料开发国家工程研究中心，北京 100081）

摘　要：本试验旨在研究饲粮中添加 β-丙氨酸对肉仔鸡生长性能、肉品质及胸肌中丙二醛和肌肽含量的影响。选取 1 日龄爱拔益加（AA）肉仔鸡公雏 180 只，随机分为 3 个组，每组 6 个重复，每个重复 10 只鸡，对照组饲喂基础饲粮，试验组分别饲喂在基础饲粮中添加 500（βA5 组）和 1 000 mg/kg β-丙氨酸（βA10 组）的饲粮。试验期为 42 d，分为前期（1~21 日龄）和后期（22~42 日龄）2 个阶段。结果表明：1）与对照组相比，βA5 和 βA10 组 21 日龄平均体重均显著提高（P<0.05），42 日龄平均体重分别提高 30、72 g（P>0.05）；与对照组相比，βA5 组后期、全期的平均日增重（ADG）均有提高趋势（0.05<P<0.10）；βA5 组前期、后期、全期的料重比（FCR）较对照组降低，其中前期、全期差异达显著水平（P<0.05）。2）与对照组相比，βA5 组胸肌滴水损显著降低（P<0.05），24 h 红度（a*）值显著提高（P<0.05）。3）与对照组相比，βA5 组胸肌中丙二醛（MDA）含量在屠宰后 2 和 4 d 呈下降趋势（2 d，P=0.091；4 d，P=0.059），βA5 和 βA10 组胸肌中丙二醛含量在屠宰后 6 d 均显著降低（P<0.05）。4）βA5 和 βA10 组胸肉中肌肽含量较对照组显著提高（P<0.05），分别提高了 19.5%和 14.4%。由此可见，饲粮中添加 500 mg/kg β-丙氨酸可改善肉仔鸡生长性能，减少胸肌滴水损失，降低胸肌丙二醛含量，增加胸肌肌肽含量，改善肉品质。

关键词：β-丙氨酸；肉仔鸡；生长性能；肉品质；肌肽

中图分类号：S816　　文献标识码：　　文章编号：

随着畜牧业的发展和消费者对健康关注的增加，人们越来越追求动物产品的营养性和功能性。禽肉具有高蛋白质、低脂肪、低胆固醇的特性，并含有丰富的功能性肽[1]，深受消费者的喜爱。近年来发现在动物性食品中，鸡肉中功能性肽——咪唑二肽（肌肽和鹅肌肽）含量最为丰富，并有摄食鸡肉可增强记忆力的研究报道[2]，因此进一步促进了鸡肉消费并掀起了肌肉中肌源活性肽的研究热潮。

β-丙氨酸是肌肽合成的限制性氨基酸，是自然界中唯一存在的 β-型氨基酸[3-4]，不参与

收稿日期：2016-07-05

基金项目：家禽产业技术体系北京市创新团队（CARS-PSTP）

作者简介：齐　博（1991-），男，陕西西安人，硕士研究生，从事单胃动物营养研究。E-mail: qibohuhu@163.com

*通信作者：张海军，副研究员，硕士生导师，E-mail: fowlfeed@163.com

蛋白质的合成，在人和哺乳动物体内以肌肽的形式发挥作用。肌肽具有增强机体运动性能、抗疲劳、抗氧化、增强肌肉的缓冲能力等生物学作用。研究表明，饲粮中添加 β-丙氨酸能提高肉仔鸡的生产性能[5-6]，增加肌肉组织中肌肽的含量[7-8]，降低组织和血清中丙二醛（MDA）含量，提高肌肉的抗氧化能力[9]，改善鸡肉的风味、食用饱食感等感观性状[10]。目前国内外关于 β-丙氨酸的研究主要集中在生产性能和肌肉肌肽含量方面，并且研究结果并不一致，对 β-丙氨酸在肉仔鸡生产实践中的效果和添加量的研究甚少。因此，本试验旨在研究 β-丙氨酸对肉仔鸡生长性能、肉品质、胸肌中肌肽和 MDA 含量的影响，并探索低剂量 β-丙氨酸在肉仔鸡上的应用效果，为 β-丙氨酸在畜禽生产实践中的应用提供科学依据。

1　材料与方法

1.1 试验材料

爱拔益加（AA）肉仔鸡：购于北京华都肉鸡公司；β-丙氨酸：

1.2 试验设计与饲粮

采用单因素设计试验，从 1 日龄 AA 肉仔鸡中选取 180 只健康公雏，随机分为 3 组，每组 6 个重复，每个重复 10 只鸡。试验期 42 d，分为前期（1~21 日龄）和后期（22~42 日龄）2 个阶段。参照 NRC（1994）肉仔鸡营养需求和《鸡饲养标准》（NY/T 33-2004），并结合《爱拔益加（AA）肉仔鸡饲养手册》配制基础饲粮，其组成及营养水平见表 1。对照组饲喂基础饲粮，试验组（βA5 组和 βA10 组）分别饲喂在基础饲粮中添加 500 和 1 000 mg/kgβ-丙氨酸的饲粮。

表 1　试验饲粮组成及营养水平

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet　　%

项目 Items	1~21 日龄 1 to 20 days of age	22~42 日龄 22 to 42 days of age
原料 Ingredients		
玉米 Corn	56.37	63.08
豆粕 Soybean meal	36.56	29.24
豆油 Soybean oil	3.00	3.50
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.24	1.61
石粉 Limestone	1.61	1.18
食盐 NaCl	0.35	0.35

批注 [W用1]: 给出纯度，以及生产厂家

批注 [W用2]: 什么基础？风干基础？干物质基础？饲喂基础？

DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.27	0.30
L-赖氨酸盐酸盐 *L*-Lys·HCl	0.19	0.27
L-苏氨酸 *L*-Thr	0.09	0.15
维生素预混料 Vitamin premix[1)]	0.02	0.02
矿物质预混料 Mineral premix[2)]	0.20	0.20
50%氯化胆碱 50% choline chloride	0.10	0.10
合计 Total	100.00	100.00
[3)]营养水平 Nutrient levels		
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.55	12.97
粗蛋白质 Crude protein	21.00	19.00
钙 Calcium	1.00	0.90
有效磷 Available phosphorus	0.45	0.40
赖氨酸 Lysine	1.15	1.05
蛋氨酸 Methionine	0.55	0.48
蛋氨酸+半胱氨酸 Methionine+cystine	0.92	0.84
苏氨酸 Threonine	0.82	0.69
色氨酸 Tryptophan	0.24	0.22

[1)]维生素预混料为每千克饲粮提供Vitamin premix provided the following per kg of diets：VA 12.500 IU，VD_3 2.500 IU，VK_3 2.65 mg，VB_1 2 mg，VB_2 6 mg，VB_{12} 0.025 mg，VE 30 IU。

[2)]矿物质预混料为每千克饲粮提供 Mineral premix provided the following per kg of diets：Cu 8 mg，Zn 75 mg，Fe 80 mg，Mn 100 mg，Se 0.15 mg，I 0.35 mg，生物素 biotin 0.0325 mg，叶酸 folic acid 1.25 mg，泛酸 pantothenic acid 12 mg，烟酸 nicotinic acid 50 mg。

[3)]营养水平为计算值 Nutrition levels were calculated values。

1.3 饲养管理

试验期间自由饮食、饮水，24 h 光照。试验前 3 d 室温 33 ℃，此后每周降低 2 ℃，直到 24 ℃并维持。按照《AA 肉仔鸡饲养手册》操作，正常防疫和消毒，试验鸡舍保持良好通风。试验过程中，每日定时记录鸡舍温度和湿度，清扫卫生，记录死淘鸡数。

1.4 指标测定与方法

1.4.1 生长性能

分别于试验开始以及 21 和 42 日龄，以重复为单位，空腹称重鸡只，计算平均体重（ABW）、平均日增重（ADG）；试验期间以重复为单位，记录耗料量，计算试验前期、后期、全期的平均日采食量（ADFI）、料重比（F/G）；每天记录死亡只数，计算阶段死亡率。

1.4.2 肉品质

于 42 日龄每重复选取 1 只接近平均体重的试鸡，颈静脉放血致死，完全剥离右侧胸肌，称重，测定肌肉 pH、肉色、滴水损失、蒸煮损失和剪切力值。

pH：分别于屠宰后的 45 min 和 24 h（4 ℃存放），利用 pH 计（cyberScan pH 310 防水笔型，EUTECH 公司，新加坡），将探针刺入待测胸肌约 1 cm 深处，测定 pH，计为 $pH_{45\ min}$ 和 $pH_{24\ h}$。测定时，电极头完全包埋在肉样中，每个样品测定 3 次，取平均值。

肉色：分别于屠宰后的 45 min 和 24 h（4 ℃存放），采用 CIE-Lab 评分，用 TCP2 型测色色差计（上海精密科学仪器有限公司，上海）测定待测胸肌的亮度（L*）、红度（a*）和黄度（b*）值。每个样品测定 3 次，取平均值。

滴水损失：屠宰后 45 min 内，称取剪切纹理相似、形状规则的胸肌约 30 g，称重（W_1），置于自封袋中，充入氮气使之膨胀，减少肉样与自封袋内壁的接触，用尼龙绳悬吊于 4 ℃冰箱内，屠宰后 24 h 时，取出肉样用滤纸轻轻拭干表面水分再称重（W_2）。

滴水损失率（%）=[（W_1-W_2）/W_1]×100。

蒸煮损失：测定 24 h 滴水损失后的肉样，重新置于新自封袋中，使肉样表面与塑料袋紧贴，于 80 ℃水浴，加热至样品中心的温度达 75 ℃，取出，流水冷却至室温。打开自封袋用滤纸轻拭肉样表面的水分后称重（W_3）。

蒸煮损失率（%）=[（W_2-W_3）/W_2]×100。

剪切力：将测完蒸煮损失率的肉样，按肌纤维走向修成 2 块长×宽×高均为 2 cm×2 cm×1 cm 的条形肉样，测定过程中肌纤维走向与刀口垂直。采用 TMS-Pro 嫩度分析仪（弗吉尼亚食品技术有限公司，美国），参数设置为传感器最大负荷 100 N，垂直位移速度 150 mm/min，跨度 6 mm。每个肉样测试 3 次，取 2 块肉样 6 次测定值的平均值为最终剪切力值。

1.4.3 肌肽含量

仪器与设备：高效液相色谱（Agilent LC-15，美国）、肌肽标准品（98%，Sigma）、匀浆机（QL-901/QL-861，海门其林贝尔）、高速冷冻离心机（10 mL，湖南赫西）、甲醇（优级纯）。

标准品的配备：准确称量 10 mg 肌肽，超纯水溶解定容至 10 mL 容量瓶，为 1 mg/mL

的储备液，用 0.1%三氟乙酸（TFA）稀释成为 10、20、50、80 和 100 μg/mL 的标准工作液。

预处理：于 42 日，每重复选取 1 只接近该重复平均体重的试鸡，屠宰分离取胸肌，-20 ℃保存。称取胸肌 0.5 g，剪碎后加入 4.5 mL 生理盐水，4 000 r/min 匀浆 30 s 3 次，匀浆液于 3 500 r/min 离心 10 min，取上清液，加入 3 倍体积的甲醇，-20 ℃冷冻 15 min，11 000 r/min 离心，取上清液，稀释 10 倍留用。

液相色谱条件：以 0.1%TFA 为流动相，乙腈为有机相，有机相比例为 95.5%，流速 1.0 mL/min，上样量 30 μL，检测波长 220 nm，在 Aglient B_8（150 mm×4.6 mm，id:5 μm）色谱柱上分离肌肽。

1.4.4 MDA 含量

MDA 含量采用试剂盒（购于南京建成生物工程研究所）测定，操作步骤严格按照说明书进行。

样本处理：于 42 日龄每重复选取 1 只接近平均体重的试鸡，颈静脉放血致死，取右侧胸肌约 200 g，-20 ℃保存。分别于屠宰后的第 2、4、6 天测定肌肉匀浆液中 MDA 含量。匀浆时取 0.50 g（±0.005 g）的胸肌置于离心管中，加入 9 倍体积生理盐水，在冰浴下以 4 000 r/min 匀浆 30 s 3 次，匀浆液于 3 000 r/min、4 ℃离心 15 min，取上清液进行测定。

1.5 数据处理

数据以平均值±标准差表示，采用 SPSS 16.0 软件的单因素方差分析（one-way ANOVA）先进行方差检验，再进行 *F* 检验和 Duncan 氏法多重比较，以 $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结 果 2.1 β-丙氨酸对肉仔鸡生长性能的影响

表 2 所示为 β-丙氨酸对肉仔鸡生长性能的影响。由表可知，与对照组相比，βA5 和 βA10 组 21 日龄的平均体重显著提高（$P<0.05$），42 日龄的平均体重在数值上分别提高 30 和 72 g，但差异不显著（$P>0.05$）；与对照组相比，βA5 组肉仔鸡的后期、全期的 ADG 有提高的趋势，βA10 组前期、后期、全期的 ADG 有所提高，但差异均不显著（$P>0.05$）；与对照组相比，βA5 和 βA10 组前期、全期的 F/G 有所降低，其中 βA5 组差异达显著水平（$P<0.05$），同时 βA5 组后期 F/G 有所降低（$P>0.05$）。各组的不同阶段的 ADFI 和死亡率差异不显著（$P>0.05$）。

表 2 β-丙氨酸对肉仔鸡生长性能的影响

Table 2 Effects of β-alanine on growth performance of broilers

项目	对照组	βA5 组	βA10 组	*P*-值

批注 [W用3]: 未交待离心时间，请补充

批注 [W用4]: 内径？给出中文

Items	Control group	βA5 group	βA10 group	*P*-value
初始平均体重 IABW/g	47.33±1.08	47.75±1.09	47.52±0.94	0.779
21 日龄平均体重 ABW at 21 days of age/g	773.33±42.55^{b}	837.62±45.30^{a}	836.28±37.69^{a}	0.004
42 日龄平均体重 ABW at 42 days of age/g	2 468.08±79.81	2 539.75±103.82	2 500.40±61.66	0.532
1~21 日龄 1 to 21 days of age				
平均日增重 ADG/g	34.02±3.10	35.80±3.90	37.26±3.29	0.222
平均日采食量 ADFI/g	53.35±3.51	52.53±3.07	53.40±3.81	0.626
料重比 F/G	1.57±0.04^{a}	1.47±0.06^{b}	1.48±0.10^{ab}	0.047
死亡率 Mortality/%	1.67±0.04	1.67±0.04	3.33±0.05	0.761
22~42 日龄 22 to 42 days of age				
平均日增重 ADG/g	76.13±2.49	81.65±5.33	79.46±1.95	0.089
平均日采食量 ADFI/g	149.90±12.05	150.80±8.73	149.50±11.89	0.388
料重比 F/G	1.97±0.04	1.84±0.08	1.89±0.02	0.099
死亡率 Mortality/%	0.00±0.00	0.00±0.00	5.00±0.08	0.152
1~42 日龄 1 to 42 days of age				
平均日增重 ADG/g	53.46±1.17	55.83±1.80	55.31±2.70	0.097
平均日采食量 ADFI/g	98.03±3.97	94.84±4.90	98.62±6.00	0.248
料重比 F/G	1.83±0.08^{a}	1.71±0.02^{b}	1.77±0.08^{ab}	0.040
死亡率 Mortality/%	1.67±0.04	1.67±0.04	8.53±0.10	0.477

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著（P>0.05），不同字母表示差异显著（P<0.05）。下表同。

Values in the same row with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as below.

2.3 β-丙氨酸对肉仔鸡肉品质的影响

表 3 所示的是 β-丙氨酸对肉仔鸡肉品质的影响。由表可知，与对照组相比，βA5 组胸肉中的滴水损失显著降低（P<0.05），βA10 组虽有降低，但差异不显著（P>0.05）；与对照组相比，βA5 和 βA10 组 24 h a*值有不同程度提高，其中 βA5 组差异达显著水平（P<0.05）。

各组胸肌的蒸煮损失、剪切力、pH 及肉色其他指标差异不显著（P>0.05）。

表 3 β-丙氨酸对肉仔鸡肌肉品质的影响

Table 3 Effects of β-alanine on meat quality in broilers

项目 Items		对照组 Control group	βA5 组 βA5 group	βA10 组 βA10 group	P-值 P-value
肉色 Meat color	45 min L*	49.94±1.93	50.03±2.21	49.03±2.15	0.671
	45 min a*	3.80±0.71	4.11±2.05	4.03±1.07	0.606
	45 min b*	13.80±1.43	12.79±1.99	12.57±1.58	0.425
	24 h L*	56.59±2.51	57.02±3.13	54.75±2.02	0.305
	24 h a*	3.67±0.49^{b}	4.69±0.53^{a}	4.35±0.64^{ab}	0.019
	24 h b*	13.76±2.03	13.08±2.32	13.82±3.02	0.850
$pH_{45\ min}$		6.48±0.07	6.45±0.19	6.46±0.15	0.958
$pH_{24\ h}$		5.80±0.09	5.78±0.09	5.72±0.12	0.398
蒸煮损失 Cooking loss/%		10.16±1.58	10.27±1.93	10.80±1.83	0.807
滴水损失 Drip loss/%		1.84±0.38^{a}	1.21±0.29^{b}	1.55±0.55^{ab}	0.042
剪切力 Shear value/N/cm^2		4.92±1.35	4.59±1.19	5.10±1.49	0.805

2.4 β-丙氨酸对肉仔鸡胸肌中 MDA 含量的影响

表 4 所示的是 β-丙氨酸对肉仔鸡胸肌中 MDA 含量的影响。由表可知，与对照组相比，屠宰后 2 和 4 d，βA5 组胸肌中 MDA 含量均显著降低（t 检验，2 d，P<0.001；4 d，P=0.001）；屠宰后 6 d，βA5 和 βA10 组胸肌中 MDA 含量显著降低（P<0.05）；与 βA10 组相比，βA5 组胸肌中 MDA 含量更低，效果更优；随着屠宰后天数的添加，对照组和 βA5 组胸肌中 MDA 的含量呈上升趋势。

表 4 β-丙氨酸对肉仔鸡胸肌中 MDA 含量的影响

Table 4 Effects of β-alanine on MDA content in breast muscle of broilers

项目 Item	屠宰后时间 Days after slaughtering/d	对照组 Control group	βA5 组 βA5 group	βA10 组 βA10 group	P-值 P-value
丙二醛 MDA	2	0.69±0.14	0.48±0.12	0.54±0.19	0.091
	4	1.14±0.43	0.60±0.31	0.97±0.20	0.059
	6	1.52±0.39^{a}	0.78±0.20^{b}	0.87±0.19^{b}	0.003

2.4 β-丙氨酸对肉仔鸡胸肉中肌肽含量的影响

表 5 所示的是 β-丙氨酸对肉仔鸡胸肌中肌肽含量的影响。由表可知，与对照组相比，βA5 和 βA10 组胸肉中肌肽含量均显著提高（P<0.05），分别提高了 19.5%和 14.4%。

表 5　β-丙氨酸对肉仔鸡胸肉中肌肽含量的影响

Table 5　Effects of β-alanine on carnosine content in breast muscle of broilers　nmol/g

项目 Item	对照组 Control group	βA5 组 βA5 group	βA10 组 βA10 group	*P*-值 *P*-value
肌肽 Carnosine	3 386.52± 108.38	4 046.33± 124.07	3 873.33± 108.88	<0.001

3　讨　论

3.1　β-丙氨酸对肉仔鸡生长性能的影响

国内关于 β-丙氨酸对肉仔鸡生长性能影响的报道较少。国外早期有研究表明，肉仔鸡饲粮中添加 2.5%的 β-丙氨酸可显著降低 ADFI、降低 F/G[11]；2 日龄肉仔鸡每日口服 22 mmol/kg（0.2%）β-丙氨酸 2 次，连续 5 d，显著提高了饲料报酬[5]。本研究表明，饲粮中添加低剂量（500 和 1 000 mg/kg）的 β-丙氨酸提高了肉仔鸡饲料转化率，与 Tomonaga 等[5]、胡新旭[10]得出一致的结果，且综合考虑 ADG、ADFI 和 F/G，500 mg/kg 剂量效果较好。本试验表明 β-丙氨酸的有效剂量较低，对合理利用资源、控制饲粮成本有利。也有研究发现，过量（2%）的 β-丙氨酸会对肉仔鸡的日增重和采食量有一定的相对抑制性作用[6]。因此，适量添加 β-丙氨酸在肉仔鸡实际生产中具有重要意义。

此外，Tomonaga 等[5,12]试验发现，肉仔鸡摄取 β-丙氨酸的方式（饮水或采食）也对生长性能具有影响。本试验表明，饲料中添加 β-丙氨酸通过提高 ADG 改善 F/G。另有研究认为，β-丙氨酸通过降低 ADFI 来改善 F/G[11]。这可能是因为 β-丙氨酸可作为神经递质调节激素的分泌，进而影响采食量或者日增重来调控动物的生长。因此，β-丙氨酸调节动物生长性能的途径和方式有待进一步探索。

3.2　β-丙氨酸对肉仔鸡肌肽含量的影响

肌肽是一种内源活性肽，主要存在于动物的肌肉组织中，具有清除氧化自由基、缓冲肌肉 pH、抗衰老、改善记忆等作用[13-14]。作为肌肽合成的底物，β-丙氨酸在动物体内的功能（神经递质、运动增强剂等）主要是通过合成肌肽来发挥其作用的，机体组织内肌肽含量的变化对于 β -丙氨酸的研究具有非常重要的意义。有研究表明，饲粮中添加 β-丙氨酸（0.5%和 1.0%）可显著提高肉仔鸡胸肌中肌肽的含量[7]；也有研究表明，β-丙氨酸可提高脑组织中

肌肽的含量，但未见影响胸肌中肌肽的含量[12]。本试验表明，肉仔鸡饲粮中添加 500 和 1 000 mg/kg β-丙氨酸显著提高了肉仔鸡胸肌中肌肽的含量（分别提高了 14.3%和 19.5%）。

有研究表明，鸡胚胎细胞外源添加标记的 β-丙氨酸，在细胞提取物中可检测到放射性标记的二肽，且随着单核成肌细胞的分化，细胞中二肽含量显著增加[15]。在动物体内，相对于肌肽合成酶 Km 值来说，β-丙氨酸含量在肌肉中低于组氨酸，因此，肌肉中肌肽合成速率主要受 β-丙氨酸含量的影响[16]。有研究表明，动物性别、基因型、β-丙氨酸转运体 *PAT*1 和 *TAUT* 基因以及肌肽转运体 *PAT* 和 *PEPT* 基因的表达量都会影响肌肽合成过程，造成肌肽含量的变化[17]。β-丙氨酸可能通过提高 β-丙氨酸转运体和肌肽转运体的表达量来提高肌肽含量，但目前在肉仔鸡上的相关研究尚十分匮乏。因此，应从 β-丙氨酸提高肌肽的途径和机理方面开展深层次的研究。

3.3 β-丙氨酸对肉仔鸡肉品质的影响

肉品质是反映肉品外观的重要指标。动物屠宰后，肌肉就会进入尸僵状态，肌肉纤维收缩，系水力会降低，水分会溢出肌肉表面，L*值增加。有研究表明，1% β-丙氨酸能降低 42 日龄肉仔鸡肌肉剪切力和 L*值[6]；肉仔鸡饲粮中添加 0.5% β-丙氨酸能降低胸肌滴水损失、蒸煮损失，提高 a*值[7]。本研究表明，β-丙氨酸能降低肉仔鸡胸肌滴水损失，提高 24 h a*值，改善肉品质。本试验结果与 Kralik 等[7]的研究相一致，但本研究中 β-丙氨酸添加剂量较低。

此外，有研究发现，宰前热应激会使肉仔鸡胸肌 a*值降低（低于正常范围），L*值升高（高出正常范围），易造成 PSE 肉，饲粮中添加 β-丙氨酸能升高 a*值，减少 PSE 肉的产生[18]。肉色主要是由肌肉色素含量决定的[19]，因此，饲粮中添加 β-丙氨酸可能会对肌肉中色素含量造成影响，然而本试验未对色素含量进行检测，因此还需要从色素含量方面进一步深入研究。

3.4 β-丙氨酸对肉仔鸡胸肌 MDA 含量的影响

β-丙氨酸具有较强的抗氧化作用，能提高肌肉组织和血清中的超氧化物歧化酶（SOD）活性，降低 MDA 含量，提高肌肉的抗氧化能力[20]。有研究表明，饲粮中添加 β-丙氨酸（0.5%和 1.0%）有降低肉仔鸡胸肌 MDA 含量的趋势[13]；饲粮中添加 0.12% β-丙氨酸能显著降低 42 日龄肉仔鸡胸肌 MDA 含量，提高谷胱甘肽过氧化物酶活性[10]。本试验表明，β-丙氨酸能降低肉仔鸡屠宰后 2、4 和 6 d 胸肌中 MDA 的含量，可能是因为 β-丙氨酸提高了胸肌中的肌肽含量，而肌肽是抗氧化剂，能减少脂质过氧化，增强胸肌的氧化稳定性。

4　结　论

批注 [W用5]: 给出对应中文

批注 [W用6]: 给出对应中文

批注 [W用7]: 给出对应中文

批注 [W用8]: 给出对应中文

肉仔鸡饲粮中添加低剂量（500 和 1 000 mg/kg）β-丙氨酸能够促进生长，改善肉品质，提高抗氧化能力，并增加胸肌中肌肽的含量。综合考虑生长性能、肉品质和肌肽含量结果，肉仔鸡饲粮中添加 500 mg/kg β-丙氨酸效果较佳。

参考文献：

[1] ABE H.Role of histidine-related compounds as intracellular proton buffering constituents in vertebrate muscle (review)[J].Biochemistry,2000,65(7):757–765.

[2] 佚名.日本研究发现鸡胸肉富含咪唑二肽有改善记忆功能[J].中国家禽,2014,36(10):62.

[3] DUNNET M,HARRIS R C.Influence of oral ß-alanine and *L*-histidine supplementation on the carnosine content of the *gluteus medius*[J].Equine Veterinary Journal,1999,31(Suppl.30):499–504.

[4] HARRIS R C,TALLON M J,DUNNETT M,et al.The absorption of orally supplied ß-alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis[J].Amino Acids,2006,30(3):279–289.

[5] TOMONAGA S,KAJI Y,TACHIBANA T,et al.Oral administration of β-alanine modifies carnosine concentrations in the muscles and brains of chickens[J].Animal Science Journal,2005,76(3):249–254.

[6] 张国强.日粮肌苷酸、β-丙氨酸和组氨酸对肉鸡肉品质的营养调控[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,2008.

[7] KRALIK G,SAK-BOSNAR M,KRALIK Z,et al.Effects of β-alanine dietary supplementation on concentration of carnosine and quality of broiler muscle tissue[J].The Journal of Poultry Science,2014,51(2):151–156.

[8] ŁUKASIEWICZ M,PUPPEL K,KUCZYŃSKA B,et al.β-Alanine as a factor influencing the content of bioactive dipeptides in muscles of Hubbard Flex chickens[J].Journal of the Science of Food and Agriculture,2015,95(12):2562–2565.

[9] 韩婷婷,曹建民,谭海,等.补充 β-丙氨酸对间歇运动大鼠肌肉能量代谢生物学指标的影响[C]//2014年中国运动生理生化学术会议论文集.贵阳:中国体育科学学会运动生理与生物化学分,2014.

[10] 胡新旭.日粮肌肽、β-丙氨酸和黄芪多糖对肉鸡肉品质的营养调控[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,2009.

[11] JACOB J P,BLAIR R,HART L E.The effect of taurine transport antagonists on cardiac

taurine concentration and the incidence of sudden death syndrome in male broiler chickens[J].Poultry Science,1991,70(3):561–567.

[12] TOMONAGA S,KANEKO K,KAJI Y,et al.Dietary β-alanine enhances brain,but not muscle,carnosine and anserine concentrations in broilers[J].Animal Science Journal,2006,77(1):79–86.

[13] HARRIS R C,MARLIND J,DUNNETT M,et al.Muscle buffering capacity and dipeptide content in the thoroughbred horse,greyhound dog and man[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Physiology,1990,97(2):249–251.

[14] GALLANT S,SEMYONOVA M,YUNEVA M.Carnosine as a potential anti-senescence drug[J].Biochemistry,2000,65(7):866–868.

[15] BAUER K,SCHULZ M.Biosynthesis of carnosine and related peptides by skeletal muscle cells in primary culture[J].European Journal of Biochemistry,1994,219(1/2):43–47.

[16] HILL C A,HARRIS R C,KIM H J,et al.Influence of β-alanine supplementation on skeletal muscle carnosine concentrations and high intensity cycling capacity[J].Amino Acids,2007,32(2):225–233.

[17] EVERAERT I,DE NAEYER H,TAES Y,et al.Gene expression of carnosine-related enzymes and transporters in skeletal muscle[J].European Journal of Applied Physiology,2013,113(5):1169–1179.

[18] 潘晓建,文利,彭增起,等.宰前热应激对肉鸡胸肉 pH、氧化和嫩度、肉色及其关系的影响[J].江西农业学报,2007,19(5):91–95.

[19] 田刚,余冰.鸡肉肉质风味研究现状及其影响因素(二)[J].四川畜牧兽医,2001,28(1):54–55.

[20] WU H C,SHIAU C Y,CHEN H M,et al.Antioxidant activities of carnosine,anserine,some free amino acids and their combination[J].Journal of Food and Drug Analysis,2003,11(2):148–153.

Effects of β-Alanine on Growth Performance, Meat Quality, Breast Muscle Malondialdehyde and Carnosine Contents of Broilers

QI Bo　WU Shugeng　WANG Jing　QI Guanghai　ZHANG Haijun*

(*National Engineering Research Center of Biological Feed, Laboratory of Feed Biotechnology of*

*Corresponding author, professor, E-mail: fowlfeed@163.com　(责任编辑　菅景颖)

Ministry of Agriculture, Feed Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to study the supplementation of β-alanine on growth performance, meat quality, breast muscle malondialdehyde (MDA) and carnosine contents of broilers. A total of 180 one-day-old Arbor Acres male broilers were randomly allotted into 3 groups with 6 replicates of 10 broilers each. The control group was fed a basal diet, the experimental groups were fed a basal diet supplemented with 500 (βA5 group) and 1 000 mg/kg β-alanine (βA10 group), respectively. The experiment lasted for 42 days, including early period (1 to 21 days of age) and late period (22 to 42 days of age). The results showed as follows:1) compared with the control group, the average body weight at 21 days of age was significantly increased in βA5 and βA10 groups (P<0.05), and the average body weight at 42 days of age was increased by 30 and 72 g in βA5 and βA10 groups, respectively (P>0.05); compared with the control group, the average daily gain in βA5 group had an increase trend during the late period and the whole period (0.05<P<0.10); the ratio of feed to gain in βA5 group was decreased during the early period, the late period and the whole period compared with the control group, and the differences during the early period and whole period were significant (P<0.05). 2) Compared with the control group, dripping loss of breast muscle in βA5 group was significantly decreased (P<0.05), and the value of a* of breast muscle at 24 h in βA5 group was significantly increased (P<0.05). 3) Compared with the control group, the content of MDA of breast muscle had decreased trends with adding 500 mg/kg β-alanine after slaughtering 2 (P=0.091) and 4 days (P=0.059), and the content of MDA of breast muscle was significantly decreased after slaughtering 6 days in βA5 and βA10 groups (P<0.05). 4) Compared with the control group, the content of carnosine of breast muscle was significantly increasedβA5 and βA10 groups (P<0.05), and was increased by 19.5% in βA5 group and 14.4% in βA10 group. Therefore, the supplementation of 500 mg/kg β-alanine in the diet of broilers can promote the growth performance, decrease the drip loss and the content of MDA of breast muscle, increase the content of carnosine of breast muscle, and improve the meat quality.

Key words: β-alanine; broilers; growth performance; meat quality; carnosine